



## Pilotage des activités de conception par l'Ingénierie Système (IS).

Eric Bonjour, Maryvonne Dulmet

### ► To cite this version:

Eric Bonjour, Maryvonne Dulmet. Pilotage des activités de conception par l'Ingénierie Système (IS).. HERMES Science. Ingénierie de la conception et cycle de vie des produits., Lavoisier, pp.85-105, 2006, Traité IC2 / productique. hal-00294692

**HAL Id: hal-00294692**

**<https://hal.science/hal-00294692>**

Submitted on 10 Jul 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Chapitre 5<sup>1</sup>

# Pilote des activités de conception par l'Ingénierie Système

### 5.1. Contexte et problématique

Pour améliorer leur compétitivité durable, nombre d'entreprises françaises ont accentué leurs efforts et investissements sur l'innovation et la conception de leurs produits. Les enjeux stratégiques consistent à lancer plus de produits sur le marché, à intégrer des innovations majeures plus vite que les concurrents, et à favoriser une personnalisation accrue des produits, pour satisfaire des besoins très variés des clients potentiels, souvent répartis dans divers pays... Pour répondre à ces enjeux, de nombreuses entreprises décident de lancer un faisceau de projets en parallèle, de piloter ces projets par les prestations, de renouveler rapidement leurs technologies et d'adopter de nouvelles organisations en conception. Ces organisations ont pour but de faciliter l'apprentissage organisationnel ainsi que la maîtrise des risques du projet et des coûts globaux de la vie du produit (gestion de la variété, modularisation, création de plateforme, gestion des interfaces, anticipation sur tout le cycle de vie...). En même temps, le développement rapide d'outils informatiques est une opportunité pour soutenir les flux d'information nécessaires à la conception collaborative et pour améliorer la robustesse des solutions techniques (par simulation, calculs...). Ce chapitre est une proposition de bases conceptuelles pour structurer le pilotage des activités de conception intégrée par l'Ingénierie Système (IS).

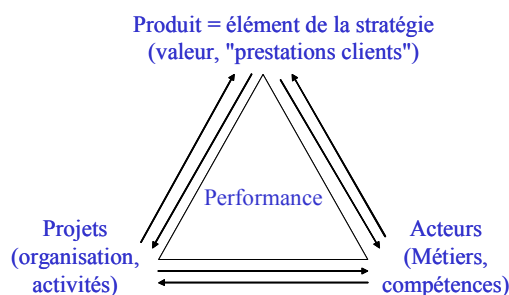
---

Chapitre rédigé par Eric BONJOUR, Maryvonne DULMET

## 2 Ingénierie de la conception et cycle de vie du produit

Nos travaux de recherche se déroulent dans le cadre d'un projet, en collaboration avec PSA Peugeot Citroën, débuté en 2000. Il est piloté par le Directeur des Projets et des Métiers techniques Organes (DPMO). Les organes concernés sont d'une part le Groupe Moto-Propulseur (GMP : moteur, chaîne de transmission, boîte de vitesse ...) et d'autre part, la Liaison Au Sol (LAS : Systèmes de direction, de freinage, de suspension, essieu, ...). Ces organes assurent des prestations clients jugées stratégiques au sein du Groupe PSA (confort-comportement routier, agrément de conduite, consommation, ...). Cette Direction au sein de PSA s'appuie sur plus de 4000 hommes.an (ingénieurs et techniciens). Nous pouvons considérer la structuration des acteurs comme un emboîtement d'acteurs individuels et collectifs, sur 4 à 6 niveaux, l'acteur de plus haut niveau étant DPMO. Les acteurs collectifs dits Métiers sont constitués sur la base de pôles de compétences structurés selon une décomposition du produit et du processus (par exemple, conception fonctionnelle de la LAS, architecture de l'essieu...). Ils sont principalement mécatroniques, avec côté GMP, des compétences fortes aussi en chimie des gaz, en thermique ... Ces Métiers sont impliqués soit dans le développement de nouveaux GMP (plateformes GMP), soit dans les projets véhicules (développement de la LAS sur les plateformes véhicules, adaptation du GMP), une plateforme étant considérée comme une base commune de constituants.

Dans des organisations d'une telle complexité et avec des enjeux stratégiques aussi forts en termes de performances, les managers ont besoin d'asseoir leurs décisions de pilotage des activités d'innovation et de conception sur des bases conceptuelles et méthodologiques solides et cohérentes leur permettant d'orienter, d'organiser, de conduire, de mobiliser et de développer les ressources socio-techniques nécessaires à leurs projets, à court terme comme à long terme.



**Figure 1.** *Logique ternaire de la performance*

Ce chapitre propose une structuration du pilotage d'un système de conception et ainsi contribue à définir de telles bases conceptuelles. Nous postulons que l'amélioration de la performance globale passe par un pilotage des activités de conception, intégrant trois axes (voir Figure 1) : le produit comme élément de la

stratégie (objectifs exprimés en termes de valeur, de prestations clients et de coût global), les projets de conception (activités qui génèrent de la valeur et consomment des coûts) et les acteurs (regroupés en Métiers ou par type de compétences, ressources qui sont mobilisées, renforcées ou renouvelées dans les projets de conception ainsi que dans d'autres projets dont l'une des finalités est le développement de compétences).

Dans la partie 2, nous dressons un bref état de l'art concernant les caractéristiques de la conception, et plus particulièrement, de l'ingénierie simultanée, de l'ingénierie système et du pilotage des systèmes socio-techniques. Dans les parties 3 et 4, nous définissons les principaux concepts abordés et nous décrivons des modèles, avec le langage UML (Unified Modeling Language), permettant de représenter un projet d'ingénierie intégrée. Dans la partie 5, nous proposons une structuration de la conception des systèmes produit, projet et acteur basée sur 3 niveaux. Enfin, dans la partie 6, nous présentons les principes d'une structuration du pilotage des activités de conception par l'IS articulant les 3 axes : produits complexes, projets et acteurs. Un bref exemple est donné à partir de la structuration de DPMO.

## 5.2. Etat de l'art

La conception est une activité complexe, nécessitant l'intégration de multiples points de vue (cognitif, technique, social, économique, organisationnel,...), chaque point de vue fournissant un ensemble d'exigences et de contraintes [PAL 96], qui sont souvent mal connues au début du projet et évolutives. Les travaux portant sur cette activité couvrent de nombreux aspects, depuis les théories de la conception [HAT 02], [MIC 03], [PER 01], jusqu'à la modélisation du processus de conception en passant par la capitalisation des connaissances produites au cours des activités de conception [HAR 97], [EYN 99], [BER 00], [MEN 02]. Certains travaux concernent l'organisation de la conception [MID 98], le pilotage des processus [PER 99], et l'intégration des compétences et des métiers dans le processus de conception [BOU 99], [LEF 02]. D'autres travaux ont pour but de développer des supports pour aider les concepteurs dans leur travail collaboratif [ROB 04]. En effet, une conséquence de la complexité de cette activité est que celle-ci n'est jamais individuelle mais présente un caractère collectif et distribué [BLA 98]. Les acteurs de la conception proviennent d'univers disciplinaires et culturels différents, d'où le rôle déterminant des mécanismes de coopération et de compréhension mutuelle.

### **5.2.1. *L'ingénierie simultanée***

L'ingénierie simultanée (ou Concurrent Engineering, notée par la suite CE) [KUS 93], [LAW 94], [PRA 97], [MID 98] dite aussi ingénierie concourante ou encore ingénierie congruente [TRA 02] est apparue au milieu des années quatre-vingt comme une nouvelle forme d'organisation en conception. Elle répond à un besoin d'amélioration de la compétitivité des entreprises, qui doivent développer leur produit et le système de production, toujours plus rapidement, moins cher et avec une assurance de qualité. Deux grands principes sont mis en oeuvre : la simultanéité et l'intégration. Le premier consiste à réaliser en même temps différentes activités concourant à la conception du produit et de son système de production, le second est caractérisé par l'établissement d'une interdépendance entre les différentes phases du projet, par la prise en compte, à chaque phase du développement, des considérations relatives à l'ensemble du cycle de vie du produit, depuis sa conception jusqu'à sa mise à disposition (coût, qualité, délai, besoins du consommateur...). Quand la conception du produit atteint un certain stade, des informations préliminaires sont transmises aux concepteurs du système de production et sa conception commence dès que possible. Finalement, le projet de conception d'un produit complexe (tel un véhicule) est lui-même complexe car son organisation se construit graduellement en fonction des informations et des contraintes très variées, évolutives et incertaines qui sont traitées progressivement dans les activités et car les résultats de ces activités sont liés aux comportements non déterministes des acteurs du projet. De ce fait, le CE est un défi managérial et organisationnel [PRA 97-2].

### **5.2.2. *L'Ingénierie Système***

L'Ingénierie Système (IS) est une démarche méthodologique développée pour maîtriser la conception et l'intégration des systèmes complexes (produits, systèmes de production...). Les principes de l'ingénierie simultanée peuvent être mis en oeuvre dans le cadre de cette démarche. Différentes normes relatives à l'Ingénierie Système coexistent [EIA 98], [IEE 99], [ISO 03]. Elles décrivent des principes d'organisation des projets et les pratiques (jugées bonnes) des métiers associés en termes de processus et d'activités. Elles ont des champs d'application limités mais se complètent. La démarche d'IS permet d'intégrer les contributions de toutes les disciplines impliquées dans les phases de conception et d'intégration d'un système, en tenant compte des différentes exigences des parties prenantes (besoins, contraintes) intervenant au cours des différentes phases du cycle de vie d'un système (point de vue utilisateur). Grâce à la mise en oeuvre systématique et coordonnée d'un ensemble de processus génériques par des équipes multidisciplinaires, l'IS permet la conception équilibrée d'une solution satisfaisant ces exigences, ainsi que des objectifs du projet en termes de coûts, délais, risques ... (point de vue du concepteur). Dans le cadre du développement d'un produit et de son système de

production associé, les buts de cette démarche sont de décomposer un système complexe sur différentes strates, d'identifier et d'organiser les activités techniques, d'éviter les retours arrière tout en progressant avec assurance (gestion des risques et de la maturité de la conception sur chaque strate), de maîtriser les informations nécessaires à la réalisation et ainsi de réduire les délais et coûts de développement.

### **5.2.3. Pilotage des activités de conception**

De nombreux travaux ont été publiés sur le pilotage industriel, avec diverses acceptations du terme « pilotage » [LOR 96], [TRE 01]. Ces travaux se limitent souvent au niveau opérationnel de l'entreprise. D'une façon générale, « piloter un système, c'est choisir un objectif par rapport auquel il faut définir la meilleure trajectoire » [PUJ 02]. Il est bien sûr nécessaire de corriger en permanence les écarts par rapport à cette trajectoire. De plus, si l'état de l'environnement se modifie, il faut pouvoir modifier soit la trajectoire (aussi appelée plan d'actions), soit l'objectif. Dans le cas d'un système socio-technique, le pilotage a pour objectif de stimuler en permanence l'amélioration de la performance et l'évolution du système piloté. Certains auteurs s'intéressent au pilotage des situations collaboratives en conception [ROB 04], avec un accent fort sur l'évaluation de performances [GIR 04]. D'autres travaux concernant la rationalisation du processus de conception d'un véhicule (recherche d'une nouvelle organisation) ont souligné le caractère fortement structurant du produit sur l'organisation [CIA 96].

Pour s'adapter à la complexité des systèmes industriels actuels, le pilotage d'aujourd'hui [LOR 96] « quel qu'en soit le sujet, ne s'exerce jamais sur une action mais sur une interprétation ». Les mécanismes de pilotage ne se résument pas uniquement à un contrôle déterministe des actions mais nécessitent aussi une « commande floue des interprétations locales détenues par les acteurs ». Ceci veut dire que le pilotage ne doit pas se manifester comme un signal unidirectionnel de prescriptions, mais doit prendre en compte au mieux les réactions possibles des acteurs selon leur situation réelle et leurs compétences. Dans ce contexte, les acteurs disposent d'autonomie et de prise d'initiative. A l'extrême, ils deviennent responsables de l'évolution de leur organisation de travail (auto-organisation) afin de s'adapter rapidement à l'évolution de leur environnement ou à des besoins nouveaux de coordination ou de spécialisation. L'organisation de l'activité collective ne doit plus être considérée comme figée sur une longue période. La conception des organisations devient une préoccupation des systèmes socio-techniques qui visent l'amélioration permanente de leurs performances. Cette problématique a été développée, en complémentarité, par différentes disciplines scientifiques : la structuration des organisations [BOU 96], la conception des organisations en tant qu'artefacts [MIC 03], les logiques de l'apprentissage collectif [VER 00] qui nécessite une nouvelle organisation transversale, la construction d'une chaîne de

valeur [POR 86]... Ces contributions ne proposent pas encore de modélisation explicite de la dynamique des organisations intégrant le produit, le projet et les acteurs. Dans le cas de projets organisés selon l'IS, le système de pilotage devient complexe et nécessite une structuration adéquate, permettant de piloter au mieux les évolutions à la fois des produits, des projets et des acteurs.

### **5.3. Définition des principaux concepts**

Dans cette partie, nous définissons les principaux concepts abordés dans ce chapitre, à savoir, système, processus, plan d'actions, projet et acteur.

#### **5.3.1 Définition d'un système**

Selon [MOR 77], « on peut concevoir le système comme une unité globale organisée d'interrelations entre éléments, actions ou individus », l'organisation étant alors « l'agencement de relations entre composants ou individus qui produit une unité complexe ou système, dotée de qualités inconnues au niveau des composants ou des individus ». La modélisation d'un système est requise lorsque l'on a l'intention de le comprendre ou d'agir sur lui, que ce soit pour le concevoir, le structurer, le piloter ou l'améliorer. Un système artificiel (ou artefact [SIM 97], [MIC 03]) est conçu et agencé intentionnellement (par l'Homme), pour répondre à des besoins (fonctions de service ou missions du système). Par la suite, cet article se limite à ce type de système et le qualificatif « artificiel » ne sera plus précisé.

#### **5.3.2 Définition d'un projet, d'un processus et d'un plan d'actions**

Les normes qualité ISO9000-version 2000 définissent un projet comme un « processus unique [particulier] qui consiste en un ensemble d'activités coordonnées et maîtrisées comportant des dates de début et de fin, entrepris dans le but d'atteindre un objectif conforme à des exigences spécifiques telles que les contraintes de délai, de coûts et de ressources. » Nous adaptons cette définition en considérant qu'un projet est l'instanciation et la réalisation d'un processus unique...

Dans la littérature, le mot processus est souvent ambigu. Différentes définitions peuvent être trouvées. Certains auteurs attachent à ce concept un aspect temporel lié à la planification et/ou un aspect « réalisationnel » lié à l'affectation des ressources, d'autres non. Pour séparer clairement ces deux aspects, nous précisons deux concepts : processus et plan d'actions. Une autre source d'ambiguïté provient de la relation entre système et processus. Le processus peut être interne au système et alors décrire son fonctionnement. Il peut porter sur le système, qui est de ce fait vu comme l'objet du processus (par exemple, les processus de vie du système et en

particulier, le processus de développement qui, dans l'ingénierie système, fait appel à différents processus génériques pour concevoir le processus interne au système et définir les différents processus de vie).

Nous définissons un processus comme étant un agencement ordonné de sous-processus, portant sur des objets intermédiaires de même type, et dont la fin est conditionnée par des critères de transition. Son objectif porte sur la transformation progressive des entrées en résultats attendus, représentant ainsi une chaîne de valeur ajoutée. Contrairement à la définition des normes qualité ISO9000-version 2000, cette définition n'introduit donc pas la notion de ressources, car il est important, pour concevoir efficacement l'organisation, de séparer l'espace des buts à atteindre de l'espace des ressources pour les atteindre. En fonction du niveau de généralité, différents termes peuvent être précisés : « processus normalisé » (car faisant l'objet de normes concernant toutes les entreprises comme celles portant sur l'IS), « processus générique » (car représenté au niveau général d'une entreprise), « processus spécifique » (car représenté au niveau d'une gamme de produits semblables comme une plateforme dans l'automobile) et « processus particulier » (ou ajusté [MEI 02], car représenté pour un projet donné).

Nous définissons un plan d'actions comme étant l'organisation préalable retenue par un acteur, pour mener à bien un projet (ou mission) qui lui a été confié. Ainsi, le plan d'actions d'un projet, est défini quand : (1) le processus spécifique au projet a été instancié et adapté pour prendre en compte les contraintes et les exigences propres au projet ; (2) les ressources ont été affectées à chaque sous-processus et les méthodes à suivre (état de l'art, bonnes pratiques...) ont été précisées ; (3) les revues de projet ont été planifiées. Au cours du projet, il peut être précisé ou modifié.

### **5.3.3 Définition d'un acteur**

Le terme d'« acteur » désigne une ressource de nature humaine de l'entreprise, qui peut être individuelle ou collective. Un acteur individuel (resp. collectif) est une personne (resp. une organisation de travail) ayant reçu la responsabilité de réaliser une mission (prescription d'un décideur) et agissant de manière permanente, temporaire ou occasionnelle, au service de l'entreprise considérée. Il existe des acteurs collectifs de différents niveaux, depuis le « binôme » jusqu'à l'entreprise considérée dans sa globalité, en passant par toutes sortes d'intermédiaires : groupes de travail, équipes projet, métiers, filières-métiers, Direction de projet, usines, etc. Un acteur collectif peut être décomposé en acteurs de plus petits cardinaux, collectifs ou individuels. Un acteur peut lui-même participer à des missions de différents acteurs collectifs de plus grands cardinaux. Il est alors important de constater que la différence porte sur l'horizon de ces missions : court, moyen, ou long terme. L'organisation matricielle, traditionnellement utilisée depuis le début des



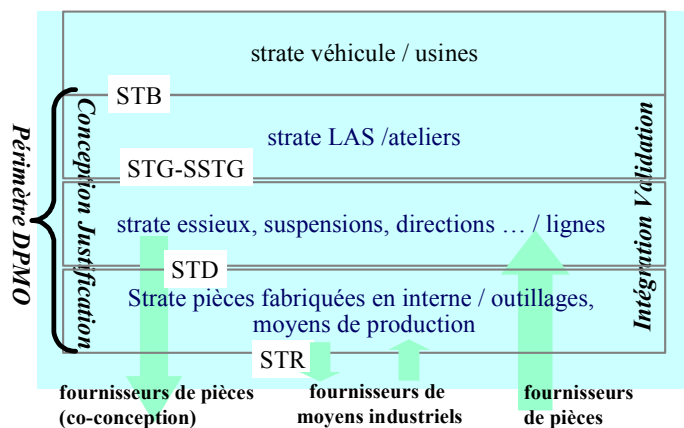
## 8 Ingénierie de la conception et cycle de vie du produit

années 90 [MID 98], n'est qu'une façon de séparer ces différents types d'horizon : les acteurs ont en charge des missions à court et moyen terme (par exemple, élaborer l'architecture de l'essieu, rédiger les justifications des choix...), mais aussi des missions à long terme (par exemple, de développement des métiers et d'innovation...). Cependant, un acteur-projet peut avoir une certaine stabilité, surtout avec le concept de plateforme qui fédère un faisceau de projets et qui s'inscrit dans la durée (plus de 5 ans). La Direction de projet est aussi à considérer comme un acteur-métier, qui développe des compétences spécifiques.

### 5.4. Modélisation UML d'un projet d'ingénierie intégrée du produit et des systèmes associés selon l'IS

Dans cette partie, nous présentons des modèles UML (diagrammes de classes) permettant de relier les principaux concepts de l'IS (système, cycle de vie, projet). Nous précisons aussi le rôle des processus techniques, qui permettent de construire progressivement une solution à un problème ouvert ainsi que le rôle des rangs d'exigences qui assurent la progression et la convergence.

#### 5.4.1. Modélisation d'un système et de son cycle de vie



**Figure 2.** Décomposition d'un système en strates (source PSA Peugeot Citroën)

L'IS s'applique dans la « phase de développement » d'un système complexe tel que un véhicule, un avion ou le système de production associé. Elle est structurée d'une part, selon une branche descendante qui établit la description récursive du système en sous-systèmes, jusqu'à la définition des composants et des pièces élémentaires (conception, justification) et, d'autre part, selon une branche

remontante qui établit l'intégration et la validation progressives des constituants (composant, organe, sous-système) jusqu'à celles du système global (voir Figure 2).

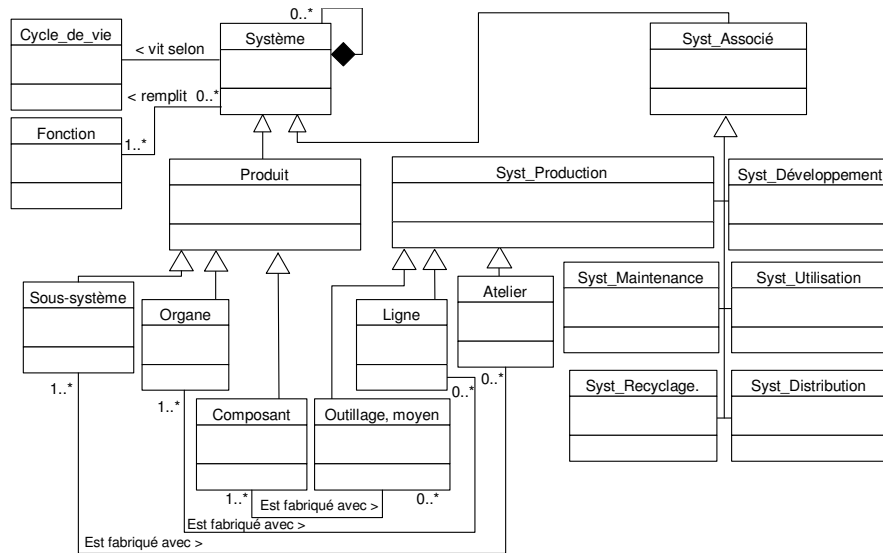


Figure 3. Modèle UML d'un système

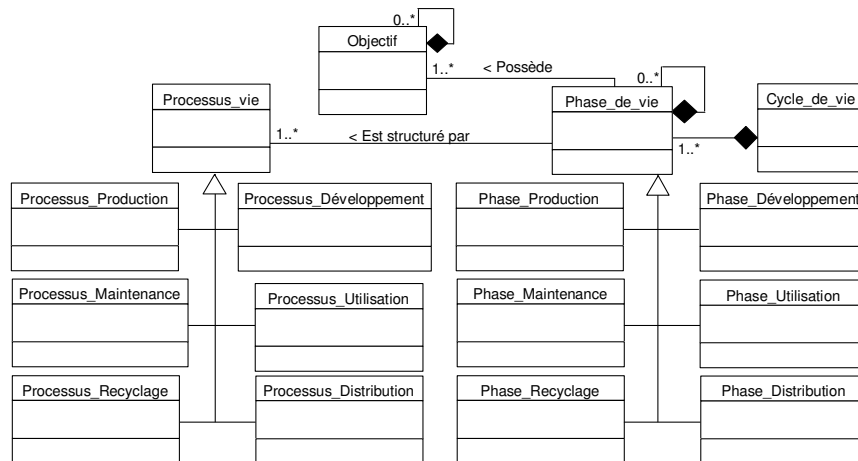


Figure 4. Modèle UML du cycle de vie

La décomposition récursive du système en sous-systèmes est organisée en strates, ce qui permet de maîtriser la complexité tout en assurant la cohérence de la maturité de la conception du système. A chaque strate, différents types de

Spécifications Techniques (ST) sont décrits (ST du Besoin (prestations clients), ST Générales, Sous-STG) avant d'arriver aux composants (ST Détaillées et ST Réalisationnelles). La figure 3 représente un modèle UML d'un système. Un système peut être soit un produit (ou encore un artefact selon [MIC 03], terme plus général), soit un système associé à ce produit. Un système est conçu pour remplir au moins une fonction. L'ingénierie simultanée porte une attention particulière à l'un des systèmes associés : le système de production (ingénierie intégrée produit - système de production). Chaque strate de décomposition du produit correspond à une strate de décomposition du système de production (sous-système – atelier, organe – ligne, composant – moyens et outillages), sauf si la production à partir d'une strate est sous-traitée (cardinalité 0..\*). La figure 4 représente un modèle UML du cycle de vie. Chaque système possède un « cycle de vie » qui se décompose en « phases de vie », qui découpent la vie de ce système, depuis l'émergence de ses besoins jusqu'à son retrait. Chaque phase de vie est structurée par un « processus de vie », qui est exécuté par un « système associé » (il transforme l'état du produit).

#### 5.4.2. Modèle d'un projet

Au cours du projet de développement d'un produit, l'IS préconise la prise en compte des « objectifs » (exigences, contraintes) provenant des différentes phases de vie des systèmes concernés : système-produit et systèmes associés. A la fin de la conception du produit, les différents systèmes associés doivent être aussi définis (ou du moins pré-définis) pour assurer la bonne exécution des différents processus de vie. Un système associé peut donc à son tour faire l'objet d'un projet de développement et jouer alors le rôle de produit (c'est un sous-projet).

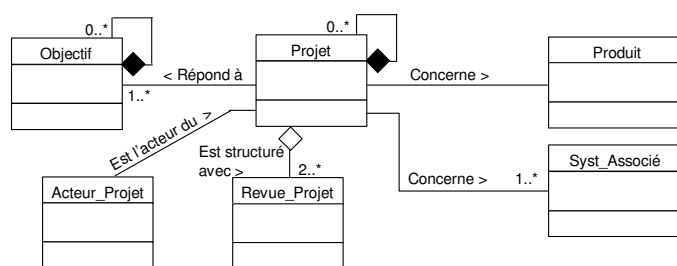
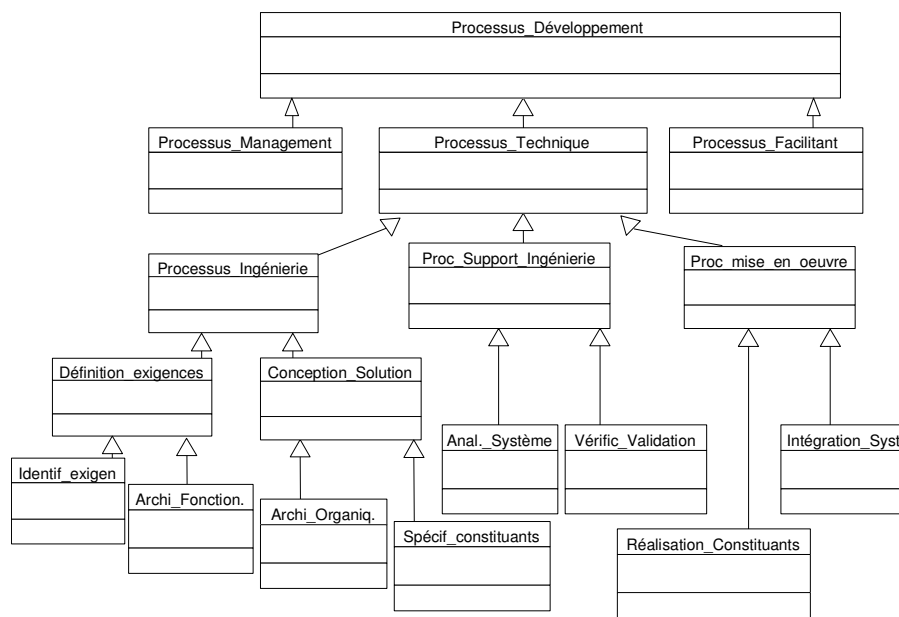


Figure 5. Modèle UML d'un projet d'ingénierie intégrée

En IS, le concept de bloc projet est utilisé pour identifier le périmètre d'un projet, et ce, aux différents niveaux de décomposition d'un système (ou strates). En représentant le concept de projet comme décomposable en sous-projets, nous évitons d'introduire dans nos modèles un concept supplémentaire. Par ailleurs, le projet est confié à un « acteur-projet ». Pour un projet donné, plusieurs types de revues

techniques sont planifiés et le structurent. Les revues servent à vérifier (ou valider) soit l'avancement des travaux, soit la complétude (ou maturité) des données avant de débiter de nouvelles tâches. Le découpage du projet par un nombre plus ou moins grand de revues est fonction du niveau d'incertitude à prendre en compte. La figure 5 représente un modèle UML d'un projet d'ingénierie intégrée.

### 5.4.3. Processus génériques en IS



**Figure 6.** Processus génériques en IS

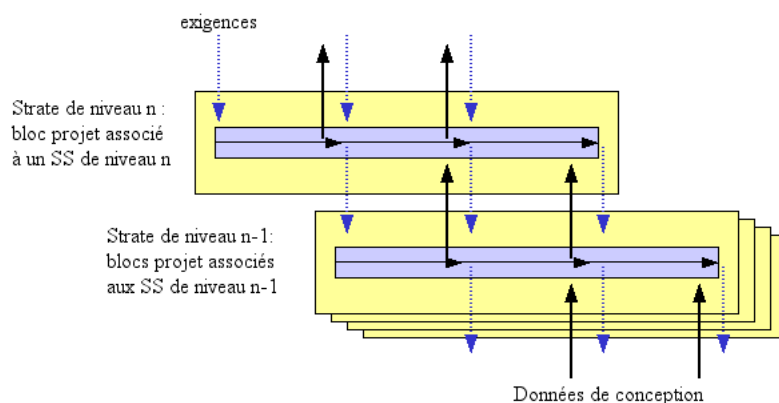
Parmi les processus génériques de développement (voir figure 6), les normes d'IS distinguent les processus techniques, faisant passer des besoins à la solution, les processus de management et les processus facilitants. Au niveau de chaque strate de décomposition d'un système, les processus techniques sont mis en oeuvre pour assurer progressivement l'exploration du problème (domaine fonctionnel) et la construction de la solution (domaine organique) [IEE 99]. Ces processus se décomposent en processus d'ingénierie qui représentent la définition des exigences (identification des exigences, architecture fonctionnelle) et la conception de la solution (architecture organique et spécification des sous-constituants), sur la branche descendante, en processus de mise en oeuvre qui traduisent la réalisation, l'intégration et la validation, sur la branche ascendante, ainsi qu'en des processus supports de l'ingénierie qui sont transversaux à ces deux branches (analyse-système

pour la recherche de compromis global et la justification des choix ; Vérification-Validation pour les activités de simulation, d'essais et de validations organique et fonctionnelle des solutions). Au cours de la réalisation des activités de la branche descendante, l'acteur doit se projeter dans la réalisation des activités de la branche ascendante pour définir les plans d'intégration et de validation. Inversement, il est important que ce soit le même acteur qui réalise les activités de la branche ascendante (meilleure qualité de la solution, itérations plus rapides, renforcement des compétences). Cet acteur est généralement une équipe autonome de 4 à 8 concepteurs.

#### **5.4.4. Conduite des activités de conception dans une strate**

Les processus techniques sont déroulés de façon itérative : les exigences sont complétées en plusieurs rangs d'exigences. Le premier rang représente la compréhension du besoin et une première réponse fonctionnelle aux exigences amont pour confirmer rapidement la faisabilité. Le deuxième rang détaille l'architecture pour obtenir la robustesse de la conception, en s'attachant particulièrement à la spécification des interfaces (la strate inférieure émet un avis sur la faisabilité des exigences de sortie). Le troisième rang représente l'affinage et l'optimisation de la solution (la strate inférieure doit juger les exigences de sortie faisables). La mise en œuvre des rangs entraîne qu'il n'est pas nécessaire d'attendre la fin de la conception dans une strate pour enclencher la conception dans la strate aval. Ceci montre aussi que chaque strate se trouve dans des niveaux de maturité différents. Le management doit garantir la cohérence de la maturité à l'intérieur d'une strate ainsi que la progression entre les strates. La figure 7 représente cette notion de rang d'exigences de la conception sur la branche descendante. Une représentation semblable peut être réalisée sur la branche ascendante pour l'intégration et la validation. Cette approche permet de fermer les degrés de liberté au plus tard pour obtenir la solution la mieux adaptée. Ainsi, la démarche du concepteur (passage du fonctionnel à l'organique à chaque strate et gel progressif des paramètres à l'intérieur d'une strate) ne se réduit pas à une simple reconduction ou paramétrage de solutions existantes. Le point de départ de son activité est l'identification d'un problème ouvert avec de nombreux degrés de liberté. A tout moment (en particulier lors du gel des paramètres à chaque rang d'exigences), l'acteur est amené à identifier et à reformuler un nouveau problème. Il est en phase d'élaboration de concepts. Ensuite il doit élaborer un ensemble de solutions acceptables et effectuer des choix parmi ces alternatives. La justification de ses choix à travers des calculs, des simulations, et des itérations internes crée un apport de connaissances nouvelles à l'intérieur de la strate. Le résultat de son activité est ensuite transmis en tant qu'exigences à la strate inférieure et en tant que contraintes (d'interfaces fonctionnelles et organiques) à la strate supérieure. Pour résumer, la cohérence globale de la solution est assurée par des itérations à l'intérieur d'une

strate, la pertinence et la faisabilité, par des itérations entre strates, la convergence par les niveaux de maturité et les rangs d'exigences.



**Figure 7.** Illustration des rangs d'exigences (source PSA Peugeot Citroën)

### 5.5. Structuration de la conception ou de l'adaptation d'un système

Dans cette partie, nous considérons qu'une approche à la fois réursive (décomposition de systèmes en sous-systèmes sur différentes strates) et structurée sur 3 niveaux (stratégique, organisationnel, opérationnel), peut être appliquée, de façon semblable, à la conception ou à l'adaptation des systèmes suivants : produit, projet, acteur. Cette approche est inspirée de la mise en oeuvre de l'IS. Elle ne remet pas en cause les modèles UML présentés en 5.4 : il suffit de considérer que le projet en question porte sur la définition d'une organisation de projet ou sur l'organisation d'un acteur (projet de conception d'organisation). L'organisation est alors considérée comme un produit (ou artefact) particulier.

### 5.5.1. Structuration de la conception d'un système-produit

Nous avons déjà abordé la structuration réursive du système-produit avec à chaque strate, une identification des besoins et exigences (niveau stratégique), une architecture fonctionnelle et organique (niveau organisationnel), une définition d'exigences envoyée vers la strate inférieure ou la réalisation des constituants pour la strate la plus basse (niveau opérationnel). Pour réduire les coûts de conception, il est utile de concevoir certains constituants comme réutilisables (recherche de communautés). Cela demande de pouvoir mutualiser certaines fonctions entre plusieurs configurations du système en anticipant le besoin par une stratégie articulant des vues marketing et technique. Un constituant est alors réutilisable car

conçu en tant que tel, de manière à répondre aux fonctions mutualisées avec des zones d'adaptations et de paramétrages. Les stratégies marketing actuelles ont conduit les entreprises à mettre en place des politiques de plateformes, de modularisation, de « make or buy » (souvent au niveau des modules) et de gestion de la variété. Ces décisions impactent le niveau organisationnel du produit. Le choix de l'architecture d'une plateforme est très délicat car celle-ci doit pouvoir s'adapter à l'évolution des exigences, au cours des différents projets marquant sa durée de vie. La stratégie technique ne peut cependant pas tout anticiper et la ré-utilisation de constituants au sein de l'architecture d'un nouveau produit constitue des contraintes fortes pour sa conception et complexifie les couplages fonctionnels et organiques. Cela peut aboutir à une situation paradoxale (au niveau opérationnel) où tous les degrés de liberté sont verrouillés, au point de devoir changer de solution (voire de technologie) et de reprendre l'architecture en « cassant » certains constituants [LAR 03] (adaptation de l'architecture au niveau organisationnel).

### 5.5.2. Structuration de la conception d'un système-projet

Nous considérons que la structuration de la conception d'un système-projet peut être récursive (projet décomposé en sous-projets) et met en évidence 3 niveaux : stratégique, organisationnel et opérationnel. La figure 8 représente cette structuration sous forme d'un cycle en V par analogie avec celui d'un produit.

<b>Elaboration de la stratégie ; Définition d'un programme de lancement de projets Définition des objectifs d'un projet</b>	<b>Evaluation de la satisfaction des clients et des parties prenantes ; adaptation du programme et de la stratégie</b>
<b>Architecture fonctionnelle du projet =&gt; processus Architecture organique =&gt; plan d'actions d'un acteur niveau N (Découpage en sous-projets Affectation de chaque sous-projet à un acteur de niveau N-1)</b>	<b>Intégration, évaluation de performance niveau N et adaptation - du processus - du plan d'actions</b>
<b>Réalisation des activités du sous-projet par cet acteur</b>	<b>Intégration des résultats et évaluation des activités du sous-projet</b>

**Figure 8.** Structuration de la conception ou de l'adaptation d'un système-projet

Le niveau stratégique doit élaborer une orientation stratégique (objectifs ouverts) qui sera complétée par l'acteur-projet concerné. Ce niveau doit prendre en compte l'évolution de l'environnement de l'acteur (clients, systèmes associés, normes, ...), les opportunités d'innovations internes ou en coopération avec des tiers et les compétences disponibles ou potentielles. La stratégie est déclinée en un programme

de lancement de projets, ce qui permet de définir les objectifs de chaque projet. Le niveau organisationnel a en charge d'adapter ou de re-concevoir l'organisation du projet, définie par le processus et le plan d'actions, et ce, en adéquation avec les évolutions des objectifs stratégiques ou du contenu des activités. D'après la description des processus techniques de l'IS (cf 5.4.3.), dans le cas d'un système-projet, le processus correspond à l'architecture fonctionnelle du projet tandis que le plan d'actions correspond à son architecture organique (d'où l'importance d'avoir distingué ces deux concepts). En management de projets, le plan d'actions est souvent appelé Organigramme Technique des Tâches (OTT) et correspond à une bonne pratique de résolution d'un problème (mission ou projet) au sein d'un acteur donné (souvent vu comme un sous-groupe d'un Métier donné). Le niveau opérationnel d'un projet correspond à la réalisation des activités de conception, qui s'enchaînent en respectant le plan d'actions (processus particulier, ressources affectées, planification) qui a été défini pour ce projet. Il est important de bien préciser l'acteur qui doit réaliser le projet, car cette vision récursive des projets permet de représenter aussi des emboîtements d'acteurs [BON 05]. L'acteur est ici considéré comme donné et stable.

La branche ascendante du V<sub>e</sub> correspond à l'intégration successive des résultats sur chaque strate (des sous-projets au projet global), à l'évaluation de performance des activités sur chaque strate et à l'adaptation éventuelle du plan d'actions ou du processus. Au niveau stratégique, l'évaluation de performance est réalisée par une boucle externe liée à la satisfaction des clients et autres parties prenantes. Cette évaluation peut conduire à des adaptations du programme et de la stratégie. Dans le cas d'un système-projet, trois difficultés majeures existent : (a) comme les objectifs et contraintes du projet ne sont pas toutes connues au début du projet, son organisation est amenée à être modifiée, généralement au niveau de l'architecture organique, parfois au niveau de l'architecture fonctionnelle ; (b) les ressources impliquées sur le projet évoluent et changent de nature au cours du projet : l'architecture organique n'est donc pas figée mais évolutive ; (c) les boucles externes de rétro-action liées à l'évaluation peuvent porter sur des horizons assez longs et l'acteur-projet peut ne pas pouvoir profiter du retour d'expérience.

### **5.5.3. Structuration de la conception d'un système-acteur**

Un système-acteur peut être amené à évoluer dans les cas suivants : évolution de ses objectifs ou de son environnement, changement de son périmètre d'activité (par exemple, regroupement d'acteurs), recherche de plus de cohérence dans ses activités, pour faire des économies, accélérer les flux ... Un acteur peut être considéré comme un système en cours d'évolution et cette évolution doit être structurée pour faciliter ensuite son pilotage. Un acteur collectif est institué par un statut et une identité, qui sont liés à une reconnaissance extérieure sur les compétences développées au sein de



cet acteur (mécanismes de spécialisation et différenciation). Le terme de Métier est fréquemment utilisé. La figure 9 illustre la structuration de la conception d'un acteur, sous forme d'un cycle en V par analogie avec celui d'un produit.

Elaboration de la politique Métier ; Définition d'objectifs de développement des connaissances et des compétences	Evaluation des connaissances et compétences nouvelles ; synthèse Métier et adaptation de la politique
Architecture fonctionnelle => processus de développement Architecture organique => plan d'actions de développement pour l'acteur-Métier niveau N (affectation d'objectifs de développement à un acteur de niveau N-1)	Intégration, évaluation de performance niveau N et adaptation - du processus - du plan d'actions
Réalisation des activités de développement du Métier	Intégration des résultats et évaluation des activités de développement

**Figure 9.** Structuration de la conception ou de l'adaptation d'un système-acteur

Au niveau stratégique, l'acteur doit élaborer une politique de développement de son Métier et définir des objectifs en termes de développement des connaissances et des compétences. Il s'agit d'anticiper sur des besoins futurs ou de disposer d'un réservoir de compétences, permettant d'être réactif si une opportunité se présente, pour conserver ou améliorer ses performances dans les projets actuels et futurs. Au niveau organisationnel, le plan d'actions de développement d'un acteur collectif peut mettre en oeuvre des acteurs individuels non mobilisés dans les projets de conception de produits. Des objectifs de développement de compétences ou de capitalisation des connaissances doivent être assignés à chaque acteur de niveau inférieur. Au niveau opérationnel, la réalisation des activités (dans et hors projets de développement) est perçue comme une opportunité de développement du Métier. La branche ascendante est semblable à celle de la partie 5.5.2.

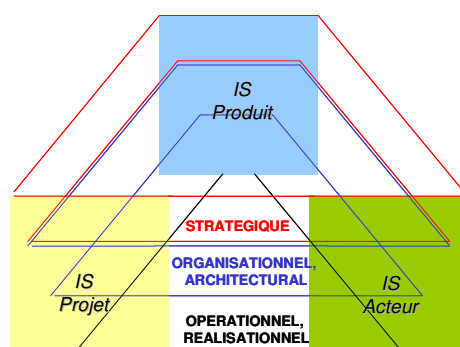
## 5.6. Pilotage des activités de conception par l' IS

Dans cette partie, nous proposons une structuration du pilotage des activités de conception qui intègre la dynamique à la fois du produit, du projet et de l'acteur. Cette proposition est brièvement illustrée à partir de la structuration de DPMO.

### 5.6.1. Proposition d'une structuration du système de pilotage par l' IS

La structuration du pilotage repose sur deux hypothèses. (1) Le niveau opérationnel d'un système (resp. organisationnel, stratégique) correspond au même

niveau pour le système de pilotage. Cette structuration du pilotage sur 3 niveaux permet de distinguer clairement les objectifs et logiques propres à chaque niveau concernant des horizons temporels différents (court, moyen ou long termes). Ces niveaux sont traditionnellement utilisés en pilotage de systèmes [PUJ 02], [GIR 04] et sont appelés, par certains auteurs, dans le contexte de la conception, niveaux macroscopiques, mésoscopiques et microscopiques [MIC 03]. (2) Le système de pilotage peut aussi être décomposé en strates, de façon récursive et hiérarchique, comme les systèmes dont il pilote l'évolution (pilotage déployé et distribué). La figure 10 est une représentation selon l'IS de la logique ternaire de la performance.



**Figure 10.** Modélisation de la logique ternaire de la performance

Au niveau stratégique, il est nécessaire de mettre en place un comité de pilotage transversal ayant une vue globale sur la politique produits (stratégie marketing et innovations), sur les priorités entre projets potentiels, sur les acteurs et leurs compétences jugées stratégiques. Les objectifs stratégiques portent à la fois sur le produit (nouvelles exigences en termes d'innovations ou de ré-utilisation), sur les Métiers (enrichissement en termes de nouvelles connaissances et compétences individuelles et collectives) et sur les projets (nouveaux niveaux de performance attendus en termes de coûts, délais, qualité mais aussi réactivité, proactivité, auto-organisation...). Au niveau organisationnel, dans une approche uniquement produit-projet, le projet est structuré en strates et en sous-projets correspondant à l'architecture du produit en différents sous-systèmes. Les compétences sont considérées comme une donnée de la conception. En intégrant la dimension acteur, le projet et l'amélioration d'un produit deviennent des opportunités de développement des métiers et des compétences des acteurs. Inversement, les acteurs sont structurés en concordance avec l'architecture du produit et bénéficient d'autonomie, pour faciliter l'émergence de compétences collectives ou individuelles jugées stratégiques ainsi que la création de nouvelles connaissances. L'axe produit-acteur permet de réfléchir à des rapprochements possibles de disciplines pour améliorer l'obtention des prestations clients. Au niveau opérationnel, la conduite de

projet consiste à suivre l'état d'avancement du projet, à mobiliser les acteurs adéquats et à leur fournir les conditions favorables à la bonne réalisation du produit. La dimension acteur rappelle que les projets de développement des métiers se réalisent aussi en dehors des projets de conception du système-produit (veille technologique, benchmarking...), un individu appartenant souvent à plusieurs acteurs collectifs en même temps, pour des missions pouvant porter sur des horizons temporels différents. Sur chaque niveau, les critères d'évaluation de performance doivent être définis (qu'est-ce qui valide une LAS, un GMP, un nouvel OTT, les nouvelles compétences d'un responsable synthèse prestations ?).

### 5.6.2. Exemple d'application à DPMO

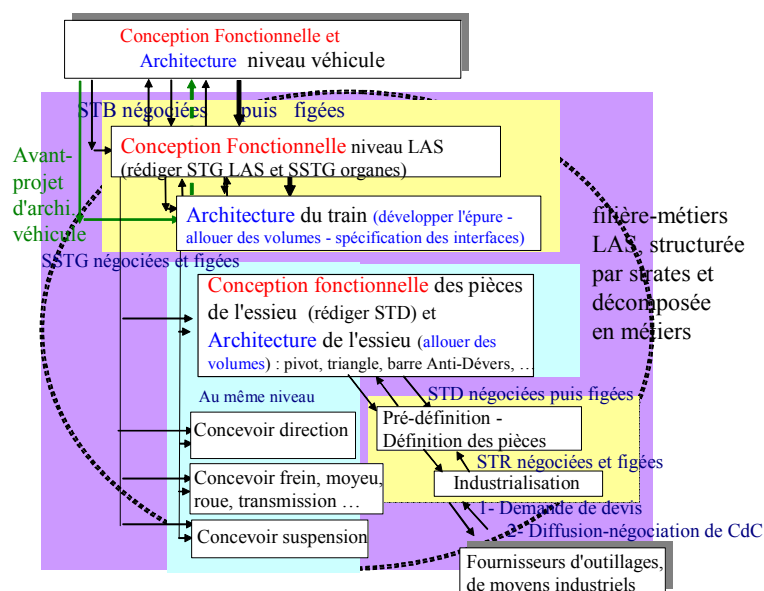


Figure 11. Exemple simplifié de plan d'actions

La figure 11 donne un exemple simplifié de plan d'actions dans le cas d'un projet de conception d'une LAS (concernant un sur-projet de conception d'un véhicule) au sein de DPMO. Le découpage du projet se fait par strates en couplant à la fois une vue produit, une vue processus et une vue des Métiers existant ou à développer. Les tâches identifiées sont affectées à des acteurs détenant ou devant développer les compétences requises. Par exemple, la tâche « élaborer l'architecture du train » est affectée à un acteur collectif de 6 personnes (également chargé de la tâche « intégrer et valider le train »). Ces personnes développent une compétence collective et des compétences individuelles. Cet ensemble de compétences est structuré en un pôle de

compétences qui est couramment appelé « métier de l'architecture du train ». A DPMO, la structuration du pilotage proposée en 5.6.1 sert de base et articule, sur chaque strate, les 3 niveaux de pilotage des activités [LAR 03] avec : au niveau stratégique, une Direction des programmes en charge de la construction des programmes d'Organes et l'établissement de leur faisabilité en termes de qualité, coûts, délais, prestations, compétences ; au niveau organisationnel, une direction des projets en charge de la conduite des projets d'ingénierie (selon les processus de l'IS) et de l'adaptation de leur organisation ; au niveau opérationnel, les directions des Métiers, qui sont organisés en une structure d'acteurs - pôles de compétences - correspondant à chacune des strates de conception du produit, en charge à la fois de la conception (acteurs sur les projets) et du développement des compétences (politique métiers, plan d'engagement et plan de développement).

### **5.6.3. Limites de notre approche**

Le pilotage des systèmes socio-techniques nécessite une approche pluridisciplinaire. Notre contribution réside dans la modélisation et la structuration du pilotage d'un système de conception. Cependant, dans ce chapitre, nous n'avons abordé ni la mise en place d'un système d'évaluation de la performance, ni les aspects psycho-sociologiques de la conduite du changement liée à la mise en place d'une nouvelle organisation (développement de l'individu, jeux de pouvoir, logiques d'acteur, régulation sociale...), ni les travaux de la théorie des organisations concernant la structuration des organisations, l'auto-organisation ou les dynamiques d'apprentissage... Toutes ces dimensions doivent être intégrées à la structure de pilotage proposée.

### **5.7. Perspectives : un pilotage conjoint des dynamiques de la valeur, des projets et des Métiers**

Dans ce chapitre, nous avons proposé une modélisation des concepts de base utilisés en IS. Les applications habituelles de l'IS se limitent souvent à la conception du système-produit. Nous étendons ici l'utilisation de l'IS au système-projet, au système-acteur et au système de pilotage. La modélisation UML proposée reste valable. Ainsi, nous avons présenté une structuration du pilotage des activités de conception par l'IS, articulant une vision des trois principaux systèmes en jeu au cours des activités de conception : le système-produit, le système-projet et le système-acteur. Cette structuration permet de mieux appréhender les différentes dimensions du pilotage et de positionner l'entreprise dans une dynamique d'amélioration de sa performance.

Nous n'avons pas abordé ici la problématique de la mesure de performance et du gain quantitatif apporté par la mise en place d'une telle structure. Cette problématique n'est d'ailleurs pas triviale et nécessite de plus amples recherches, pouvant s'inspirer de travaux déjà publiés [GIR04], [MIC 03] ... Pour mieux comprendre la mise en oeuvre du pilotage par l'IS, d'autres développements de modèles UML pourraient être utiles, par exemple, des diagrammes d'activité représentant les processus de gestion de la maturité ou de coordination intra- et inter-strates.

Une application systématique des processus de l'IS sur les systèmes décrits ci-dessus permettrait d'approfondir notre proposition de structuration du pilotage conjoint des dynamiques de la valeur, des projets et des Métiers. En effet, l'IS est une démarche « normalisée » de structuration des projets à partir de processus génériques ayant prouvé leur pertinence. Sa mise en oeuvre ne doit pas fournir une organisation, qui serait considérée comme figée et comme uniquement adaptée à une conception routinière. Chaque acteur, doté d'autonomie, doit être capable de remettre en cause son organisation pour améliorer sa pertinence (nouveau processus) et/ou sa cohérence (nouveau plan d'actions) afin d'améliorer sa contribution à la conception du produit. Dans les phases amont d'un projet (souvent appelé avant-projet), les architectures du produit, du projet et des Métiers concernés (acteurs) peuvent être simultanément et progressivement définis et ajustés. Quand le projet entre en phase de développement, le plan d'actions est globalement défini. Des adaptations locales mineures peuvent encore être adoptées pour tenir compte des spécificités du projet en cours. Les organisations préalablement décrites doivent avoir un statut connu : figé ou évolutif. Dans les situations de conception routinières (environnement connu, acteurs compétents), les plans d'actions sont fortement décrits et figés. Inversement, dans les situations fortement innovantes (environnement fortement incertain, connaissances à créer, compétences d'acteurs à construire), les plans d'actions se construisent en même temps que les objectifs portant sur le produit. La conduite des activités revient alors à favoriser la prise d'initiative individuelle ou la constitution de groupes ad hoc, sur les missions où les incertitudes et la complexité systémique nécessitent des collaborations et itérations.

Pour cela, des outils de conception collaborative doivent pouvoir supporter ces activités (non structurées a priori), sans en prescrire le fonctionnement. Dès lors, l'aide au pilotage dans l'incertitude et dans la complexité passe par la caractérisation du degré d'incertitude et du degré de complexité de chaque projet pour adapter la structure ou les modes de pilotage.

## 5.8. Bibliographie

[BER 00] BERNARD A. « Modèles et approches pour la conception et la production intégrée » *APII – JESA* N° 34/ 2000.

- [BLA 98] BLANCO E., L'émergence du produit dans la conception distribuée, Thèse de Doctorat, Laboratoire 3S, INP Grenoble, 1998.
- [BON 05] BONJOUR B., MICAELLI JP., DULMET M., « Modélisation réursive des compétences d'acteurs collectifs en conception intégrée », *6ème Congrès International de Génie Industriel*, 7-10 juin 2005, Besançon, actes CD, 11p.
- [BOU 90] BOUCHIKHI H., *Structuration des organisations : concepts constructivistes et étude de cas*, Economica, Gestion, Paris, 1990.
- [BOU 99] BOUCHER X., Contribution méthodologique pour la gestion de filières métiers dans un contexte d'Ingénierie Concourante, Thèse de l'Université Aix-Marseille III, 1999.
- [CIA 96] CIAVALDINI B., Des projets à l'avant-projet : l'incessante quête de réactivité – analyse du processus de rationalisation de la conception automobile liée à l'évolution du produit en termes de complexité et d'innovation au sein du Groupe PSA Peugeot Citroën, thèse de doctorat, ENSMP, Paris, 1996.
- [EIA 98] EIA 632 : Processes for Engineering a System, Avril 1998.
- [EYN 99] EYNARD B., Modélisation du produit et des activités de conception, contribution à la conduite et à la traçabilité des processus de conception, Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux, 1999.
- [GIR 04] GIRARD P., DOUMEINGT G., « Modelling of the engineering design system to improve performance », *I.J. Computers & Industrial Engineering*, Vol. 46/1 p.43-67, 2004.
- [HAR 97] HARANI Y., Une approche multi modèles pour la capitalisation des connaissances dans le domaine de la conception , Thèse de l'Université de Grenoble, 1997.
- [HAT 02] HATCHUEL A. ET WEIL B., « La théorie C-K, Fondement et usage d'une théorie unifiée de la conception », *International Conference Sciences of Design*, Lyon, 2002.
- [IEE 99] IEEE 1220: Standard for application and Management of the Systems Engineering Process, 1999.
- [ISO 03] ISO 15288: Systems Engineering – System Life-Cycle Processes, AFNOR Z 67-288 (Ingénierie systèmes – Processus de cycle de vie des systèmes), Novembre 2003.
- [KUS 93] KUSIAK A., WANG J., Decomposition in Concurrent Design, Engineering, in: *Concurrent Engineering*, J. Wiley, 1993.
- [LAR 03] LARTIGUE N., « Compétence et conception », *congrès SLA*, Poissy, France, 09-2003.
- [LAW 94] LAWSON M., KARANDIKAR H., « A Survey of CE », *CERA Journal* 2 : 1-6., 1994.
- [LEF 02] LEFEBVRE P., ROOS P., SARDAS J-C., « From the management of expertise to the management of design metier », *EURAM Conference*, Stockholm, Suède, 2002.
- [LOR 96] LORINO P., « Le pilotage de l'entreprise : de la mesure à l'interprétation », dans *Cohérence, pertinence et évaluation*, Edition ECOSIP 1996.
- [MEI 02] MEINADIER JP, *Le métier d'intégration de système*, Hermès, 2002.

## 22 Ingénierie de la conception et cycle de vie du produit

- [MEN 02] MENAND S., Modélisation pour la réutilisation du processus de conception multi acteur de produits industriels, Thèse de Doctorat, Grenoble, 2002.
- [MIC 03] MICAËLLI J.P., FOREST J., *Artificialisme, Introduction à une théorie de la conception*, PPUR, Lausanne, 2003.
- [MID 98] MIDLER C., *L'auto qui n'existait pas, managements des projets et transformation de l'entreprise*, Dunod, Paris, 1998.
- [MOR 77] MORIN E., *La méthode, Tome 1, La nature de la nature*, Editions du Seuil, 1997.
- [PAL 96] PAHL G., BEITZ W., *Engineering design – a systematic approach*, 2nd Ed. (traduction), Springer-Verlag London, 1996.
- [PER 99] PERRIN J., *Pilotage et évaluation des processus de conception*, L'harmattan, 1999.
- [PER 01] PERRIN J., *Conception entre Science et Art*, Auteurs collectifs sous la direction de Jacques Perrin, collection Epistémologie, INSA de Lyon, 2001.
- [POR 86] PORTER M., *L'avantage concurrentiel : comment devancer ses concurrents et maintenir son avance*, Paris, Interéditions, 1986.
- [PRA 97] PRASAD B., *Concurrent Engineering Fundamentals*, vol 1&2, Prentice Halls, 1997.
- [PRA 97-2] PRASAD B., « On Management Styles for a Concurrent Engineering Organisation », *CERA Journal*, Vol 5, n°4, December 1997.
- [PUJ 02] PUJO P., KIEFFER J.P., *Fondement du pilotage des systèmes de production*, Lavoisier, 2002
- [ROB 04] ROBIN V., GIRARD P., ROSE B., « Intégration des connaissances dans les environnements de conception pour le pilotage de la conception collaborative », colloque C2EI, actes CD, 10p, Nancy, AIP Lorrain, CRAN - ERPI, 1-2 décembre 2004.
- [SIM 97] SIMON H.A., *Sciences des systèmes, Sciences de l'artificiel*, version traduite en français par J-L. Le Moigne, Dunod, 1997.
- [TRA 02] TRASSAERT P., (2002), « Concevoir le produit, l'organisation et la stratégie – le métier de systémier », International Conference in the Sciences of Design, Lyon, in honour of Herbert Simon, 2002.
- [TRE 01] TRENTESAUX D., PUJO P. (coordonnateurs), « pilotage distribué des systèmes de production », *JESA*, vol 25, n°7-8, 2001.
- [VER 00] VERZAT C., Les logiques d'apprentissage collectif en recherche industrielle – Modèle de compréhension et de pilotage par les situations-type – recherche-action à la direction de la recherche de PSA Peugeot Citroën, thèse de doctorat en sociologie, UFR Sciences des Organisations, Univ. Paris IX-Dauphine, 2000.